

## STUDI PENGARUH PENGGUNAAN POLY(3-HEXYLTHIOPHENE) P3HT DAN GRAFIT TERHADAP KINERJA SEL SURYA

Nurussaniah<sup>1,\*</sup>, Cari, Agus Supriyanto<sup>2</sup>, Risa Suryana<sup>3</sup>, Anita, Boisandi<sup>4</sup>

Mahasiswa Program Studi Ilmu Fisika Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta

\* Email: nurussaniah\_nia@yahoo.com

### Abstrak

Sel surya organik merupakan suatu divais fotovoltaiik yang mampu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya organik adalah sebuah alternatif untuk menggantikan sel surya silikon karena dapat diproduksi dengan teknik yang mudah dan biaya yang murah. Struktur pada penelitian ini adalah TiO<sub>2</sub>/P3HT/elektrolit/FTO dan TiO<sub>2</sub>/P3HT/elektrolit/FTO+Grafit. Karakterisasi I-V menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi P3HT dapat meningkatkan kinerja sel surya. Penggunaan grafit pensil sebagai elektroda lawan menghasilkan performa DSSC yang lebih baik dibandingkan dengan yang tidak menggunakan grafit pensil. Grafit pensil yang dideposisikan pada kaca konduktif sebagai elektroda lawan mampu menjadi katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Performa sel surya terbaik dari penelitian ini diperoleh pada sel dengan struktur TiO<sub>2</sub>/P3HT/elektrolit/FTO+Grafit dengan konsentrasi P3HT 1% dan menggunakan grafit sebagai elektroda lawan, efisiensi yang dihasilkan adalah  $2,9 \times 10^{-3}\%$ .

**Kata kunci:** poly(3-hexylthiophene) (P3HT), grafit, sel surya.

### PENDAHULUAN

Saat ini teknologi fotovoltaiik sangat memiliki kemajuan dibidang energi surya sebagai sebuah energi alternatif dan terbaharukan. Beberapa dekade terakhir, sel surya telah menarik perhatian sebagai pilihan yang tepat untuk menjadi sumber energi utama dimasa depan. Untuk memproduksi sel surya dengan biaya yang murah, telah banyak devais dengan struktur dan material baru yang saat ini sedang dikembangkan (Hadipouret *al.*, 2008). Salah satunya adalah foto voltaik organik yang dapat diproduksi dengan biaya yang murah dan teknik yang mudah (Brabec, 2004).

Fotovoltaiik organik adalah sebuah alternatif untuk menggantikan fotovoltaiik anorganik seperti sel surya silikon. Polimer terkonjugasi merupakan hal yang menarik dalam hal ini. Sifat material yang unggul pada polimer seperti dapat diproduksi dengan teknik yang mudah dan biaya yang murah menjadikannya sebagai material yang banyak digunakan dalam perkembangan teknik sosial modern (Spanggaard&Dan Krebs, 2004).

*Poly(3-hexylthiophene)* (P3HT) merupakan salah satu polimer organik yang

banyak digunakan para peneliti sebagai material aktif dalam sel surya berbasis sel surya organik (SSO). Kwong *et al* (2004) telah melakukan penelitian sel surya organik (SSO) *bulk heterojunction* TiO<sub>2</sub>:P3HT, dari hasil penelitiannya diperoleh efisiensi sel surya sebesar 0,42%. Selain itu, penelitian sel surya lainnya yaitu berbasis SSO menggunakan campuran nano kristalin TiO<sub>2</sub> sebagai akseptor elektron dan P3HT sebagai donor elektron menghasilkan efisiensi sebesar 1,35%(Toong&Sulaiman, 2011).

*Poly (3-hexylthiophene)* (P3HT) adalah salah satu *family* dari *polythiophene*, yang merupakan polimer bersifat konduktif. Eksitasi elektron dari  $\pi$ -orbit memberikan sifat fotovoltaiik pada P3HT. Absorpsi P3HT berada pada rentang panjang gelombang 450-650 nm, yaitu sekitar 27% dari rentang panjang gelombang cahaya tampak(Kroonnet *al.*, 2008). P3HT mampu menyerap cahaya pada spektrum cahaya tampak dan memiliki energi gap sekitar 1,9 eV(Rashmiet *al.*, 2007).P3HT merupakan polimer semikonduktor tipe-p sehingga dapat berperan sebagai material transport elektron (donor elektron) (Guneset *al.*, 2007; Hoppe *et al.*, 2004; Tsunget *al.*, 2011).

Proses konversi cahaya menjadi arus listrik pada fotovoltaik organik dapat diperoleh melalui empat tahap: (i) Absorpsi foton yang diarahkan untuk formasi eksitasi *state*, pasangan elektron-hole (eksiton). (ii) Difusi eksiton, yang menyebabkan (iii) terjadinya pemisahan muatan. (iv) Transport muatan ke anode (*hole*) dan katode (elektron), untuk menghasilkan arus (Hoppe *et al.*, 2004).

Konstruksi sel surya pada penelitian ini mirip dengan konstruksi sel surya berbasis DSSC. P3HT berperan seperti *dye* yang akan menghasilkan elektron tereksitasi saat mendapat energi cahaya. Pada DSSC elektroda lawan merupakan salah satu komponen yang memegang peranan penting dalam menentukan baik tidaknya performa yang dihasilkan. Fungsi elektroda lawan adalah mentransfer elektron dari sirkuit eksternal ke dalam elektrolit dan sebagai media terjadinya reduksi hasil oksidasi muatan. Material yang dapat dijadikan sebagai elektroda lawan harus memiliki resistansi rendah dan memiliki elektrokimia stabil dalam elektrolit serta permukaan elektroda mampu menjadi katalis dalam mereduksi pasangan redoks (Kwak *et al.*, 2011).

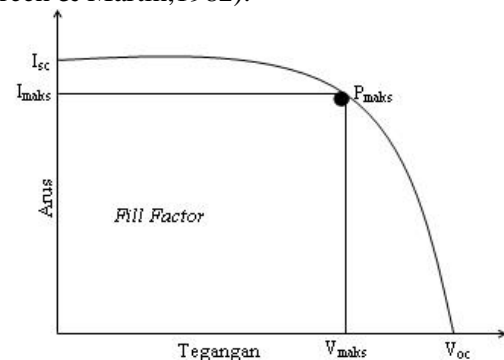
Beberapa penelitian menggunakan Platinum (Pt) sebagai elektroda lawan (Longo *et al.*, 2013; Bisquert, 2004). Platinum (Pt) dan karbon (C) adalah material yang umum digunakan sebagai elektroda lawan. Grafit, intan dan karbon amorf merupakan alotrop karbon. Pada abad ke-18, pertama kali diidentifikasi bahwa grafit adalah karbon murni. Pada penelitian ini akan dikaji karakterisasi penggunaan polimer organik P3HT sebagai material aktif sel surya. Serta pengaruh penggunaan grafit sebagai elektroda lawan terhadap kinerja sel surya.

## PRINSIP KERJA SEL SURYA

Prinsip kerja sel surya pada penelitian ini mengikuti prinsip kerja dari DSSC (Gratzel, 2013). Saat P3HT yang melekat dipermukaan  $\text{TiO}_2$  menyerap foton dari cahaya matahari, elektron akan tereksitasi dari *Higher Occupied Molecular Organic* (HOMO) ke *Lower Unoccupied Molecular Organic* (LUMO) yang kemudian akan diinjeksi ke pita konduksi  $\text{TiO}_2$ , sehingga elektron-elektron akan terkumpul di  $\text{TiO}_2$ . Molekul P3HT yang ditinggalkan berada dalam keadaan teroksidasi. Selanjutnya elektron akan ditransfer melalui rangkaian luar menuju elektroda lawan. Elektrolit yang terdiri dari

pasangan redoks berperan sebagai mediator elektron sehingga menghasilkan proses siklus dalam sel. Ion triiodide menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar masuk kembali ke dalam sel. Elektron tersebut bereaksi dengan elektrolit yang menyebabkan penambahan ion iodide pada elektron. Satu ion iodide pada elektrolit mengantarkan elektron membawa energi menuju teroksidasi. Elektrolit menyediakan elektron pengganti untuk molekul P3HT teroksidasi sehingga P3HT kembali ke keadaan awal. Proses ini akan berlangsung terus-menerus sehingga dihasilkan arus yang kontinyu.

Performa sel surya adalah kemampuan sel surya mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Gambar 1. merupakan kurva *I-V* yang menunjukkan kemampuan sel dalam memproduksi tegangan dan arus. Pada gambar tersebut diperlihatkan tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ), arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ), tegangan maksimum, arus maksimum dan *fill factor*. Saat kondisi *short circuit* ( $I_{sc}$ ), sel akan menghasilkan arus *short circuit*. Saat kondisi *open circuit* tidak ada arus yang mengalir sehingga tegangannya akan menjadi maksimum atau disebut dengan tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ). *Fill factor* merupakan ukuran kualitas performa sel surya (Green & Martin, 1982).



Gambar 1. Kurva *I-V* DSSC

*Fill factor* dapat ditentukan dengan Persamaan 1. Dengan menggunakan *fill factor* maka daya maksimum yang dihasilkan sel surya dapat ditentukan dengan Persamaan 2.

$$FF = \frac{V_{maks} I_{maks}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (1)$$

$$P_{maks} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (2)$$

$$y = \frac{P_{maks}}{P_{cahaya}} \quad (3)$$

Efisiensi menjadi ukuran global kualitas sel surya. Efisiensi sel surya yang merupakan perbandingan kuantitatif dari daya maksimum yang dihasilkan sel ( $P_{maks}$ ) dengan daya dari cahaya yang datang ( $P_{cahaya}$ ) dapat ditentukan dengan persamaan (3).

## EKSPERIMEN

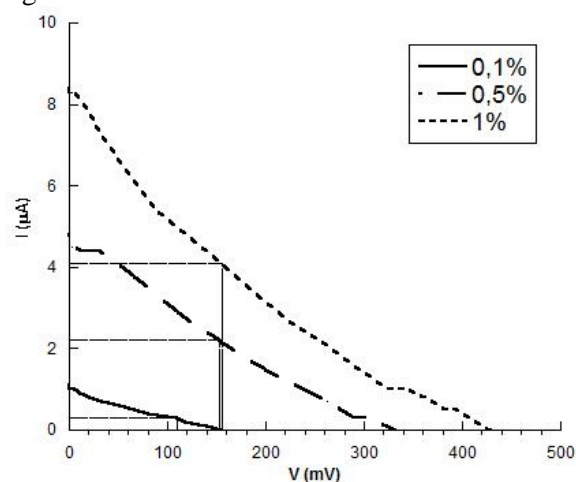
*Titanium dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ) 3,5 gram dilarutkan dalam 25 ml etanol diaduk selama 30 menit menggunakan *vortex stirrer*.  $\text{TiO}_2$  dilapiskan keatas kaca konduktif *Flourine Tin Oxide* (FTO) dengan metode *slip casting*. Lapisan  $\text{TiO}_2$  dipanaskan pada suhu  $400^\circ\text{C}$  selama 10 menit. P3HT yang diproduksi oleh *Sigma Aldrich* memiliki kemurnian 99,995% berbentuk serbuk kasar dilarutkan dalam *chloroform* dengan konsentrasi 0,1%, 0,5% dan 1% menggunakan *ultrasonic cleaner*. Grafit pensil 2B digerus sampai menjadi serbuk halus. Serbuk grafit pensil 2B sebanyak 3,5 gram ditetesi 15 ml etanol sambil diaduk menggunakan *vortex stirrer* selama 30 menit. Pasta grafit pensil 2B dideposisikan keatas kaca konduktif menggunakan metode *slip casting*. Kemudian kaca FTO yang telah dilapisi grafit pensil 2B dipanaskan menggunakan *hotplate* pada suhu  $400^\circ\text{C}$  selama 10 menit.

Konstruksi sel surya yang digunakan adalah system *sandwich*. Elektroda kerja berupa kaca konduktif FTO yang telah dilapisi  $\text{TiO}_2$  ditetesi dengan P3HT. Elektroda lawan pada penelitian ini divariasi yaitu berupa kaca konduktif FTO yang dilapisi grafit pensil 2B dan kaca konduktif FTO yang dibiarkan bersih tanpa dilapisi apapun. Elektrolit  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$  ditetesi diantara elektroda lawan dan elektroda kerja. Diantara elektroda kerja dan elektroda lawan diberi pembatas menggunakan *keyboard protector* agar tidak terjadi hubungan arus pendek. Elektroda kerja dan elektroda lawan serta elektrolit yang telah ditetesi di antara keduanya ditumpuk kemudian dijepit menggunakan *clipboard*. Kemudian DSSC dikarakterisasi arus dan tegangannya.

## HASIL DAN DISKUSI

Karakterisasi arus-tegangan ( $I$ - $V$ ) adalah suatu metode untuk mengetahui kinerja sel surya yaitu seberapa besar kemampuan sel dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energilistrik. Pengukuran  $I$ - $V$  dilakukan pada kondisi terang yaitu di bawah penyinaran lampu halogen dengan intensitas sebesar  $1991 \text{ W/m}^2$ . Dengan memvariasi hambatan pada saat pengukuran, maka akan didapatkan nilai arus dan tegangan yang akan membentuk kurva  $I$ - $V$ .

Gambar2. Menunjukkan kurva  $I$ - $V$  hasil karakterisasi arus tegangan pada sel surya dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{FTO}$ . Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa kemiringan kurva  $I$ - $V$  yang paling tinggi dihasilkan oleh sel surya dengan P3HT 1%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi P3HT dapat meningkatkan performa sel surya secara signifikan.



Gambar 2. Kurva  $I$ - $V$   $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}$

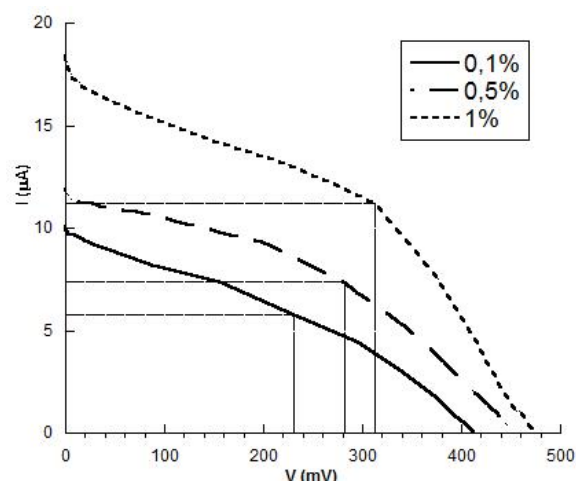
Hasil yang sama ditunjukkan pada Gambar3. yaitu karakterisasi arus tegangan sel surya dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{FTO}+\text{Grafit}$ . Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat sel surya dengan P3HT 1% menghasilkan kemiringan kurva paling tinggi dibandingkan sel surya dengan P3HT 0,5% dan 0,1%.

P3HT adalah material aktif yang akan menciptakan pasangan elektron dan *holes* saat disinari cahaya. Konsentrasi P3HT mempengaruhi banyaknya penciptaan elektron dan *hole*.  $\text{TiO}_2$  berperan sebagai material yang menghantarkan elektron sedangkan elektrolit berperan sebagai material yang menghantarkan *hole* (Hagfeldt & Gratzel, 2000). Semakin tinggi konsentrasi, maka semakin banyak molekul P3HT yang dapat mengeksitasi

elektron dari *Higher Occupied Molecular Organic* (HOMO) ke *Lower Unoccupied Molecular Organic* (LUMO) yang selanjutnya akan diinjeksi ke pita konduksi  $\text{TiO}_2$ . P3HT teroksidasi akan direduksi kembali oleh elektron yang berasal dari elektrolit, sehingga P3HT akan kembali ke keadaan awal untuk mengulangi proses kerja sel surya. Semakin banyak elektron bebas yang dihasilkan maka aliran muatan akan semakin baik sehingga semakin besar arus yang dihasilkan.

Elektroda lawan berperan sebagai tujuan akhir elektron yang ditransfer dari  $\text{TiO}_2$  melalui rangkaian luar. Elektron ini akan digunakan untuk mengembalikan P3HT teroksidasi ke keadaan awal melalui reaksi redoks dengan elektrolit sehingga akan terjadi siklus dalam sel.

Berdasarkan kurva  $I$ - $V$  pada Gambar 3, ditunjukkan bahwa sel surya dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}+\text{Grafit}$  menghasilkan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) dan tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) lebih tinggi dibandingkan dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}$ . Grafit berfungsi sebagai katalis yaitu untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit, sehingga arus yang dihasilkan lebih stabil. Hal ini dikarenakan grafit merupakan salah satu alotrop karbon yang berfungsi sebagai konduktor akibat delokalisasi elektron antar-permukannya (Ting&Chao, 2009).



Gambar 3. Kurva  $I$ - $V$  dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}+\text{Grafit}$

Efisiensi yang dihasilkan disajikan pada Tabel 1. Sel surya dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}+\text{Grafit}$  menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan sel surya dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}$ . Hasil optimasi menunjukkan efisiensi paling baik yang berhasil diperoleh pada sel surya berstruktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}+\text{Grafit}$  dengan konsentrasi P3HT 1%. Efisiensi yang dihasilkannya adalah  $2,9 \times 10^{-3}\%$ .

Tabel 1. Efisiensi sel surya dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{FTO}$  dan  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{FTO}+\text{Grafit}$

Sel surya		$V_{oc}$ (mV)	$I_{sc}$ ( $\mu A$ )	$V_{maks}$ (mV)	$I_{maks}$ ( $\mu A$ )	FF	$\eta$ (%)
Struktur	Konsentrasi						
$\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{FTO}$	0,1%	154,7	1,1	110	0,3	0,19	$2,59 \times 10^{-5}$
	0,5%	332	4,8	152	2,2	0,21	$2,81 \times 10^{-4}$
	1%	429	8,4	156	4,1	0,18	$5,00 \times 10^{-4}$
$\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{FTO}+\text{Grafit}$	0,1%	413	10,1	231	5,8	0,32	$1,12 \times 10^{-3}$
	0,5%	453	11,9	281	7,4	0,38	$1,75 \times 10^{-3}$
	1%	475	18,4	313	11,2	0,40	$2,90 \times 10^{-3}$

## KESIMPULAN

Fabrikasi sel surya dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}$  dan  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}+\text{Grafit}$  telah berhasil dilakukan. Dengan adanya arus dan tegangan yang dihasilkan, sel surya telah terbukti dapat mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Penambahan konsentrasi P3HT dapat meningkatkan kinerja sel surya. Penambahan grafit pada FTO dapat menghasilkan arus yang

stabil, hal ini dikarenakan grafit dapat berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Sel surya dengan kinerja adalah sel surya dengan struktur  $\text{TiO}_2/\text{P3HT}/\text{elektrolit}/\text{FTO}+\text{Grafit}$  dengan P3HT 1%, efisiensi yang dihasilkannya adalah  $2,9 \times 10^{-3}\%$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian mengucapkan terimakasih kepada pengelolah Laboratorium FMIPA UNS Surakarta dan dukungan dari LPPM Hibah Pasca UNS Surakarta dengan No. 2345/UN27.16/PN/2012.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bisquert, J., Cahen, D., Ruhle, G. H. S. dan Zaban, A. 2004. Physical chemical principles of photovoltaic conversion with nanoparticle, mesoporous dye-sensitized solar cells. *J. Phys. Chem. B*, 108, 8106-8118.
- Brabec, C. J. 2004. Organic Photovoltaic: Technology and Market. *J. of Solar Energy & Solar Cells*. 83 273-292.
- Gratzel, M. 2003. Dye-sensitized Solar Cells. *J. of Photochemistry and Photobiology C* 4 pp.145.
- Green dan Martin A. 1982. *Solar Cells Operating Principles Technology and System Application*. Prentice Hall, Inc; Englewood Cliffs N.J.
- Gunes, S., Neugebauer, H. dan Sariciftci, N. S. 2007. Conjugated Polymer-Based Organic Solar Cells. *Chem. Rev.* 107 pp.1324-1338.
- Hadipour, A., Boer, D. B. dan Blom, P. W. M. 2008. Organic Tandem and Multi-Junction Solar Cells. *J. of Advanced Functional Materials*. Wiley InterScience.
- Hoppe, H. dan Sariciftci, N. S. 2004. Organic Solar Cells: An Overview. *J. Mater. Res.* Vol. 19 No. 7 pp. 1924-1945.
- Kroon, R., Lenes, M., Hummelen, J. C., Blom, P. W. M. dan Boer, D. B. 2008. Small Bangap Polymers for Organic Solar Cells (Polymer Material Development in the Last 5 Years). *Polymer Reviews*. 48:531-582.
- Kwak, D.J., Moon, B. H., Lee, D. K., Park, C. S. dan Sung, Y. M. 2011. Comparison of transparent conductive indium tin oxide, titanium-doped indium oxide, and fluorine-doped tin oxide films for dye sensitized solar cell application. *J. of Electrical Engineering & Technology* Vol.6 No. 5 pp. 684-687.
- Kwong, C. Y., Choy, W. C. H., Djurisić, A. B., Chui, P. C., Cheng, K. W. dan Chan, W. K. 2004. Poly(3-hexylthiophene):TiO<sub>2</sub> Nanocomposites for Solar Cell Application. *J. of Nanotechnology*. 15 pp.1156-1161.
- Longo, C. dan De Paole, M. A. 2003. Dye-sensitized Solar Cells: A Successful Combination of Materials. *J. of The Brazilian Chemical Society*, vol. 14 no. 5 pp. 889-901.
- Rashmi, Kapoor, A. K., Kumar, U. Balakrishnan, V. R. dan Basu, P. K. 2007. Degradation Process in Organic Thin Film Devices Fabricated using P3HT. *Pramana J. of Physics*. Vol. 68 No. 3 pp.489-498.
- Spanggaard, H. dan Krebs, F. C. 2004. *A Brief History of the Development of Organic and Polymeric Photovoltaics*. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 83 125-146.
- Toong, W. Y. dan Sulaiman, K. 2011. Fabrication and Morphological Characterization of Hybrid Polymeric Solar Cells Based on P3HT dan Inorganic Nanocrystal Blends. *J. of Sains Malaysiana*. 40 (1) pp.43-47.
- Tsung, W. Z., Chun, C. H., Yu, C. T., Gao, Y. T., Lee, Yih, Wang dan Wei, F. S. 2011. Correlating Interface Heterostructure Charge Recombination and Device Efficiency of Poly(3-hexylthiophene)/TiO<sub>2</sub> Nanorod Solar Cell. *American Chemical Society. Langmuir* 27 pp. 15255-15260.
- Hagfeldt, A. dan Gratzel, M. 2000. Molecular Photovoltaics. *Account Chem Res*, 33 269-277.
- Ting, C.C. dan Chao, W. S. 2009. Efficiency Improvement of DSSC by Building the Carbon Black as Bridge in Photoelectrode. *SET2009-8<sup>th</sup> International*

Conference in Sustainable Energy  
Technologies, Aachen, Germany. pp 1-7.